

Kinetika Reaksi Isomerisasi α -pinene

Retno Ringgani^{a*}, Budhijanto^b, Arief Budiman^b^aProgram Studi D3 Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jln. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta, 55283, Indonesia^bJurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
Jln. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 23 Februari 2016
Diterima dalam revisi 24 Februari 2016
Diterima 25 April 2016
Online 1 Juni 2016

ABSTRAK: Terpentin merupakan hasil hutan non kayu yang berasal dari pohon pinus. Terpentin diperoleh dari hasil produk non kayu berupa getah pinus dengan kandungan tertinggi berupa α -pinene dengan cara didistilasi dan menghasilkan produk atas berupa terpentin dan produk bawah berupa gondorukem. Terpentin yang dipakai pada penelitian ini memiliki komposisi α -pinen 80,03 %, camphen 1,95%, β -pinen 2,78 %, Δ -carene 11,91% dan limonen 1,99%. Reaksi isomerisasi α -pinen merupakan reaksi paralel yang menghasilkan beberapa produk isomer, yaitu *camphen*, *limonen*, *α -terpinen*, *γ -terpinen*, dan *terpinolen*. Produk hasil isomerisasi α -pinen merupakan produk *intermediate* yang digunakan dalam industri farmasi, *chemical fragrance*, anti bakteri dan industri parfum. Pada penelitian ini, dipelajari reaksi isomerisasi α -pinen menggunakan katalis resin amberlyst 36. Reaksi isomerisasi α -pinen dilakukan pada reaktor *batch* berpengaduk dengan variasi suhu 70 - 100°C. Kinetika reaksi isomerisasi α -pinen dari terpentin didekati dengan reaksi order satu *irreversible*. Model kinetika yang diusulkan menunjukkan kesesuaian dengan hasil eksperimen baik. Dari hasil perhitungan diperoleh parameter faktor tumbukan (A) dan Energi Aktivasi (E) untuk masing-masing camphene, limonene, α -terpinene, γ -terpinene, terpinolene yaitu $0,825 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$; $0,0061 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$; $0,0645 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$; $0,0595 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$; $0,0645 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$ dan 27,93 kJ/mol; 19,67 kJ/mol; 18,53 kJ/mol; 19,25 kJ/mol; 4,28 kJ/mol.

Kata Kunci: terpentin; α -pinene; isomerisasi

ABSTRACT: Turpentine is a non-timber forest products derived from pine trees. Pine sap is distilled to produce turpentine as distilat products and gum rosin as bottom products. Turpentine as raw material in this experiment has a composition of 80.03% α -pinene, camphen 1.95%, 2.78% β -pinene, limonene 11.91% and Δ -Carene 1.99%. Alpha pinene isomerization is a parallel reaction which produces several isomers products, namely camphene, limonene, α -terpinen, γ -terpinen, and terpinolen. Product of α -pinene isomerization is an intermediate product used in the pharmaceutical industry, chemical fragrance, anti-bacterial and perfume industry. In this study, resin catalyst Amberlyst 36 was used in α -pinene isomerization. Isomerization α -pinene was carried out in a stirred batch reactor at a temperature range of 70 - 100°C. The experimental data was interpreted with a first order kinetic model. The proposed kinetic model and the experimental data showed a good agreement. Calculation parameters of the collision factor (A) and the activation energy (E) for each camphene, limonene, α -terpinene, γ -terpinene, terpinolene, were $0,825 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$; $0,0061 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$; $0,0645 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$; $0,0595 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$; $0,0645 \times 10^5 \text{ dm.s}^{-1}$ and 27,93 kJ/mol; 19,67 kJ/mol; 18,53 kJ/mol; 19,25 kJ/mol; 4,28 kJ/mol, respectively.

Keywords: turpentine; α -pinene; isomerization

1. Pendahuluan

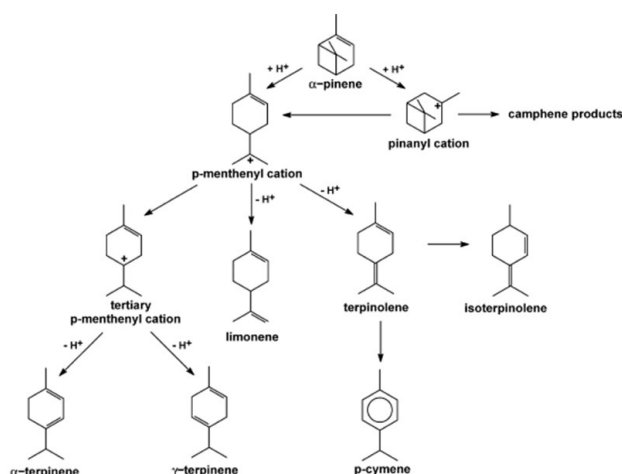
Indonesia memiliki spesies pohon pinus yang tersebar di seluruh hutan Indonesia. Produk non kayu dari pohon pinus yang dikembangkan adalah getah pinusnya. Getah pinus diolah dengan proses distilasi agar dihasilkan produk yang berupa rosin (gondorukem) sebagai hasil bawah dan terpentin sebagai hasil atas. Saat ini, produk turunan terpentin dikembangkan untuk menaikkan nilai jualnya. Sebagian besar produk turunan terpentin adalah produk

intermediate. Produk *intermediate* turunan terpentin digunakan sebagai bahan baku untuk produksi bahan kimia pada industri farmasi, *chemical fragrance*, anti bakteri dan industri parfum (Valencia et al., 2004; Grzona et al., 2005; dan Aguirre et al., 2008).

Gscheidmeier and Fleig (1996) menyatakan bahwa terpentin Indonesia mengandung 65-85% α -pinene, kurang dari 1% camphene, 1-3% beta-pinene, 10-18% delta-carene, dan 1-3% limonene. Alpha-pinene yang merupakan komponen utama penyusun terpentin inilah

*Corresponding Author: +62-8139-2001-273
Email: retnoringgani@ymail.com

yang berpotensi untuk diolah menjadi produk kimia yang memiliki nilai jual yang lebih tinggi. Beberapa produknya yaitu α -terpineol, melalui proses hidrasi α -pinene (Aripta T.I., et. al., 2011; Utami, H., et. al., 2011), Bornyl asetat melalui proses esterifikasi α -pinene (Liu et. al., 2008) dan selanjutnya melalui reaksi isomerisasi α -pinene menghasilkan camphene (Valenzia et al., 2004). Reaksi isomerisasi α -pinene dengan bantuan katalis fase padat dalam kondisi asam yang saat ini sedang dikembangkan karena menghasilkan produk-produk isomer yang berpotensi menjadi produk yang penting dalam sintesis di industri farmasi dan industri parfum (Findik dan Gunduz, 1997).



Gambar 1. Skema Mekanisme Reaksi Isomerisasi α -pinen oleh Rachwalik et.al. (2007)

Beberapa studi tentang reaksi isomerisasi α -pinene menggunakan berbagai katalis padat dalam kondisi asam telah dilakukan (Findik dan Gunduz, 1997; Allahverdiev et al., 2000; Ozkan et al., 2003; Volzone et al., 2001; Yadav et al., 2004; Valenzia et al., 2004; Aguirre et al., 2008; Atalay dan Gunduz, 2011). Katalis padat yang digunakan diantaranya katalis *clinoptilolite* (Findik dan Gunduz, 1997; Allahverdiev et al., 2000; Ozkan et al., 2003;), katalis *di- and trioctahedral smectite clays* (Volzone et al., 2001), katalis *montmorillonite clays* (Yadav et al., 2004), katalis $H_3PW_{12}O_{40}$ yang disangga dengan *natural zeolite* (Atalay dan Gunduz, 2011) dan katalis SO_3^{2-} functionalized MCM-41 (Aguirre et.al., 2008). Dari sekian katalis padat yang digunakan pada proses isomerisasi α -pinene tersebut di atas memerlukan tahapan preparasi untuk mengaktifkan katalis dengan senyawa asam.

Holguin et.al. (2008), Valencia et.al. (2004) dan Comelli et. al. (2006), menyatakan bahwa proses isomerisasi α -pinene merupakan reaksi paralel yang akan menghasilkan produk *bi-* dan *tricyclic* terdiri dari camphene, tricyclene, Δ -carene dan produk *monocyclic* yang berupa limonene, α -terpinene, γ -terpinene, terpinolene. Rachwalik et.al. (2007) menampilkan skema reaksi isomerisasi α -pinene seperti terlihat pada Gambar 1. Reaksi isomerisasi membentuk 2 karbokation yaitu kation

pinanyl dan p-menthenyl. Masing-masing karbokation membentuk produk isomer yaitu camphene, limonene, terpinene (α -terpinene dan γ -terpinene), terpinolene. Produk terpinolene selanjutnya bereaksi lanjut menghasilkan isoterpinolene dan p-cymen.

Pada penelitian ini digunakan terpenin sebagai bahan baku reaksi isomerisasi. Hal ini dikarenakan, α -pinen di alam tidak terbentuk dalam kondisi murni akan tetapi berupa campuran dari monoterpene. Proses tahapan pemurnian terpenin menjadi α -pinenr murni diperlukan biaya yang besar.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinetika reaksi isomerisasi α -pinene yang terkandung dalam terpenin secara batch dengan katalis resin amberlyst 36. Pada penelitian ini, penulis menggunakan katalis kation exchange amberlyst 36. Katalis kation exchange amberlyst 36 memiliki kelebihan yaitu waktu yang efektif karena tidak memerlukan tahapan preparasi katalis dan efektif pada proses recovery katalisnya. Kinetika reaksi isomerisasi α -pinene dari terpenin didekati dengan reaksi heterogen order satu *irreversible* yang melibatkan laju reaksi kimia.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: terpenin yang diperoleh dari Perum Perhutani KPH Pemalang dengan memiliki komposisi α -pinene 80,03 %, camphene 1,95%, β -pinene 2,78 %, Δ -carene 11,91% dan limonene 1,99% sedangkan katalis yang digunakan adalah amberlyst 36 dari Rohm and Haas Co., *styrene divinyl benzene sulfonic acid cation exchange resin*.

2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan terdiri dari reaktor *batch* berupa labu leher tiga 250 mL yang dilengkapi pengaduk merkuri yang dihubungkan dengan motor pengaduk, *oil bath* dan sistem reflus dengan pendingin bola.

2.3 Cara Penelitian

2.3.1 Reaksi isomerisasi

Labu leher tiga yang telah berisi terpenin kemudian dirangkai bersama dengan pendingin bola, *magnetic stirrer* dengan *oil bath* yang telah diset pada suhu 100 °C, kondisi atmosferis dan pengadukan konstan. Saat suhu reaksi tercapai, katalis amberlyst 36 dimasukkan ke dalam labu leher tiga dengan perbandingan katalis dan minyak terpenin sebesar 1%. Reaksi dilakukan selama 4 jam. Selanjutnya setiap selang 1 jam reaksi selama 4 jam diambil sample 1 ml untuk dianalisis kandungan dan komposisinya. Percobaan yang sama dilakukan untuk variasi suhu reaksi 70, 80, 90 dan 100°C.

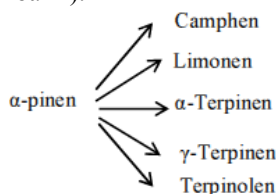
2.3.2 Analisis

Analisis hasil dilakukan dengan *Gas Chromatography* (GC QP2010S SHIMADZU) dengan kolom CBP 1; detector FID t280; gas pembawa Helium; *flow* Helium 40 mL/menit dan GC-MS (QP2010S SHIMADZU) dengan kolom

AgilentJ%W DB-1; panjang 30 meter; *Inside diameter* 0,25 mm; gas pembawa Helium. Sample diambil tiap 1 jam sekali selama 4 jam untuk tiap titik variasi baik suhu maupun perbandingan katalis yang digunakan.

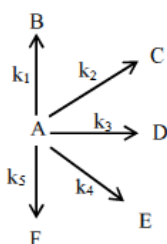
2.3.3 Reaksi Isomerisasi

Reaksi isomerisasi α -pinene merupakan reaksi paralel membentuk produk-produk isomer. Ditinjau model yang disederhanakan yaitu kation yang terbentuk dari proses isomerisasi α -pinene yang berupa pinanyl, kation p-menthenyl, dan kation tertiary p-menthenyl tidak ditampilkan pada model kinetika karena kation-kation tersebut dianggap langsung membentuk produk isomernya berupa camphen, limonen, α -terpinene, γ -terpinene dan terpinolene (Gambar 2).



Gambar 2. Model Mekanisme Reaksi Isomerisasi α -pinene

Jika α -pinene dituliskan A, B adalah camphene, C limonene, D α -terpinene, E γ -terpinene, F terpinolene maka persamaan reaksinya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Model Kinetika Reaksi Isomerisasi α -pinene

Persamaan kinetika disusun berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian ini berupa konversi α -pinene dan konsentrasi senyawa produk isomer (camphene, limonene, terpinolene, α -terpinene, γ -terpinene) pada setiap interval waktu yang diperoleh pada tiap kondisi proses.

Dari hasil penurunan persamaan neraca massa pada fase cair dan pada fase padatan katalis untuk masing-masing senyawa baik dari reaktan (α -pinene) maupun produk isomer (camphene, limonene, terpinolene, α -terpinene, γ -terpinene), maka diperoleh persamaan model kinetika reaksi yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan kinetika reaksi. Adapun ringkasan persamaan yang terbentuk adalah :

$$\frac{dx_A}{dt} = k_A a_c m \left(1 - x_A - \frac{C_{AS}}{C_{A0}} \right) \quad (1)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = k_B a_c m (C_{BS} - C_B) \quad (2)$$

$$\frac{dC_C}{dt} = k_C a_c m (C_{CS} - C_C) \quad (3)$$

$$\frac{dC_D}{dt} = k_D a_c m (C_{DS} - C_D) \quad (4)$$

$$\frac{dC_E}{dt} = k_E a_c m (C_{ES} - C_E) \quad (5)$$

$$\frac{dC_F}{dt} = k_F a_c m (C_{FS} - C_F) \quad (6)$$

$$C_{AS} = \frac{k_A C_A}{\eta (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5) + k_A} \quad (7)$$

$$C_{BS} = \frac{k_B C_B + \eta k_1 C_{AS}}{k_B} \quad (8)$$

$$C_{CS} = \frac{k_C C_C + \eta k_2 C_{AS}}{k_C} \quad (9)$$

$$C_{DS} = \frac{k_D C_D + \eta k_3 C_{AS}}{k_D} \quad (10)$$

$$C_{ES} = \frac{k_E C_E + \eta k_4 C_{AS}}{k_E} \quad (11)$$

$$C_{FS} = \frac{k_F C_F + \eta k_5 C_{AS}}{k_F} \quad (12)$$

$$k_B = k_A \left(\frac{BM_A}{BM_B} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

$$k_C = k_A \left(\frac{BM_A}{BM_C} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

$$k_D = k_A \left(\frac{BM_A}{BM_D} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$k_E = k_A \left(\frac{BM_A}{BM_E} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

$$k_F = k_A \left(\frac{BM_A}{BM_F} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

dimana x_A = konversi α -pinene, C_{A0} (mol.L⁻¹) = konsentrasi α -pinene mula-mula, C_i (mol.L⁻¹) = konsentrasi komponen i, C_{is} (mol.L⁻¹) = konsentrasi komponen i pada fase padat, k_i (dm.s⁻¹) = koefisien transfer massa per komponen i, M_i (gr.grmol⁻¹) = berat molekul tiap komponen i, dimana i berupa A α -pinene B camphene, C limonene, D α -terpinene, E γ -terpinene dan F terpinolene. Selanjutnya a_c (dm².gram katalis⁻¹) = permukaan luas bidang transfer; k_j (dm.s⁻¹) = koefisien kinetika reaksi untuk masing-masing reaksi, dimana reaksi 1 pembentukan camphene, reaksi 2 pembentukan limonene, reaksi 3 pembentukan α -terpinene, reaksi 4 pembentukan γ -terpinene dan reaksi 5 pembentukan terpinolene; m (gr katalis) = berat katalis; η = *effectiveness factor*.

Kondisi batas untuk peristiwa ini adalah:

$$t=0; x_A = 0; C_B = C_{B0}; C_C = C_{C0}; C_D = 0; C_E = 0; C_F = 0$$

Jika nilai $k_A, \eta k_1, \eta k_2, \eta k_3, \eta k_4, \eta k_5$ ditentukan, selanjutnya perhitungan dilakukan dengan persamaan di atas maka dapat diperoleh nilai $x_A, C_B, C_C, C_D, C_E, C_F$ pada berbagai waktu yang dekat dengan data percobaan dan memberikan SSE minimal.

$$SSE_A = \sum \left[\frac{(x_A)_{hitung} - (x_A)_{data}}{(x_A)_{data}} \right]^2 \quad (18)$$

$$SSE_B = \sum \left[\frac{(C_B)_{hitung} - (C_B)_{data}}{(C_B)_{data}} \right]^2 \quad (19)$$

$$SSE_C = \sum \left[\frac{(C_C)_{hitung} - (C_C)_{data}}{(C_C)_{data}} \right]^2 \quad (20)$$

$$SSE_D = \sum \left[\frac{(C_D)_{hitung} - (C_D)_{data}}{(C_D)_{data}} \right]^2 \quad (21)$$

$$SSE_E = \sum \left[\frac{(C_E)_{hitung} - (C_E)_{data}}{(C_E)_{data}} \right]^2 \quad (22)$$

$$SSE_F = \sum \left[\frac{(C_F)_{hitung} - (C_F)_{data}}{(C_F)_{data}} \right]^2 \quad (23)$$

$$SSE_{total} = \sum (SSE_A + SSE_B + SSE_C + SSE_D + SSE_E + SSE_F)$$

Nilai konstanta reaksi isomerisasi α -pinene dapat dituliskan untuk masing-masing produk sebagai $k_1', k_2', k_3', k_4', k_5'$ dengan :

$$k_1' = \eta k_1 \quad (24)$$

$$k_2' = \eta k_2 \quad (25)$$

$$k_3' = \eta k_3 \quad (26)$$

$$k_4' = \eta k_4 \quad (27)$$

$$k_5' = \eta k_5 \quad (28)$$

Nilai $k_1', k_2', k_3', k_4', k_5'$ merupakan fungsi suhu (T) yang mengikuti persamaan Arrhenius

$$k_1' = A_1 \exp \left(-\frac{E_1}{RT} \right) \quad (29)$$

$$k_2' = A_2 \exp \left(-\frac{E_2}{RT} \right) \quad (30)$$

$$k_3' = A_3 \exp \left(-\frac{E_3}{RT} \right) \quad (31)$$

$$k_4' = A_4 \exp \left(-\frac{E_4}{RT} \right) \quad (32)$$

$$k_5' = A_5 \exp \left(-\frac{E_5}{RT} \right) \quad (33)$$

Dengan asumsi bahwa harga *effectiveness factor* (η) dalam difusi internal sama dengan 1 dikarenakan pori katalis yang digunakan relatif kecil, maka, nilai $k_i' = k_i$.

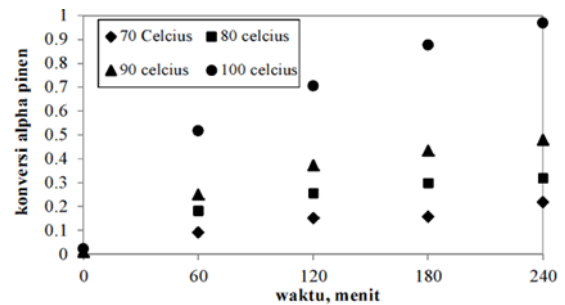
Nilai faktor frekuensi tumbukan A_1 dan nilai energi aktivasi E_1 dapat diketahui dengan *curve fitting* data konstanta kecepatan reaksi k_1 pada berbagai suhu reaksi. Begitu juga untuk nilai A_2, A_3, A_4, A_5 dan nilai energi aktivasi E_2, E_3, E_4, E_5

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Suhu Reaksi

Pengaruh suhu reaksi terhadap konversi α -pinen dipelajari pada variasi suhu 70, 80, 90 dan 100°C. Data konversi α -pinene terhadap waktu pada berbagai variasi suhu dapat dilihat pada Gambar 4.

Laju reaksi isomerisasi α -pinene dipengaruhi oleh suhu reaksi. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan konversi dengan kenaikan suhu reaksi selama waktu reaksi. Hasil yang serupa juga dilaporkan oleh Findik and Gunduz (1997); Allahverdiev et al. (2000); Ozkan et al. (2003) pada isomerisasi α -pinene dengan katalis clinoptilolite zeolit yang diaktifasi dengan asam dan Volzone et al. (2001); Yadav et al. (2004) pada isomerisasi α -pinene dengan katalis *clays* berupa *montmorillonite* dan *di- and trioctahedral smectice*.



Gambar 4. Hubungan antara konversi α -pinen sebagai fungsi waktu dengan variasi Suhu

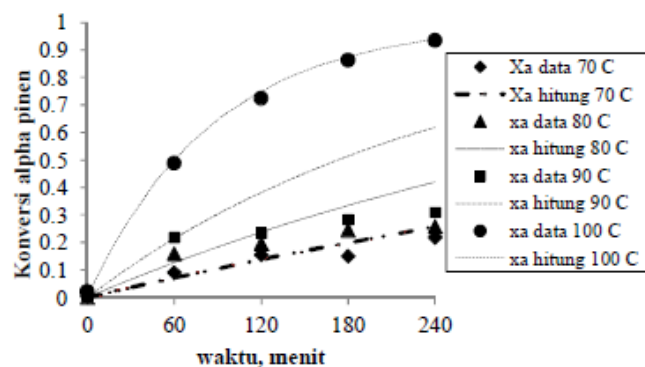
Pada saat katalis ditambahkan, terjadi reaksi yang menyebabkan konversi α -e menjadi produk isomer naik. Konversi α -pinene meningkat dengan meningkatnya suhu reaksi isomerisasi, akan tetapi setelah menit ke 180 selama reaksi isomerisasi, kecepatan konversi α -pinene menjadi lambat di tiap variasi suhu. Dengan demikian dapat dipahami bahwa setelah terjadi kenaikan konversi yang cukup tinggi, laju reaksi mengalami penurunan karena konsentrasi reaktan mulai menurun. Hal yang sama juga dijumpai pada penggunaan katalis asam padat yang lain seperti *clay* dan zeolit (Volzone et al., 2001; Yadav et al., 2004).

Dari Gambar 4 juga terlihat laju reaksi meningkat seiring dengan meningkatnya suhu reaksi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu, maka dalam skala molekuler, laju pergerakan setiap molekul akan semakin cepat sehingga frekuensi tumbukan antar molekul akan meningkat dan reaksi menjadi semakin cepat. Kecepatan gerak merupakan fungsi suhu. Semakin tinggi suhu maka kecepatan gerak akan meningkat, dan menyebabkan energi kinetik meningkat sehingga energi untuk tumbukan melebihi energi aktivasinya.

3.2 Model Kinetika Reaksi

Data hubungan antara konversi dan konsentrasi tiap produk isomer (camphene, limonene, α -terpinene, γ -terpinene dan terpinolene) sebagai fungsi waktu pada berbagai suhu reaksi digunakan untuk menentukan harga parameter pada model kinetika reaksi yang diusulkan. Perhitungan diawali dengan melakukan tebakan nilai $k_A, \eta k_1, \eta k_2, \eta k_3, \eta k_4, \eta k_5$. Harga tiap parameter ditentukan sedemikian rupa sehingga data hasil perhitungan mendekati data hasil percobaan dan memberikan SSE total yang minimum.

Konversi α -pinene dan konsentrasi produk isomer (camphen, limonen, α -terpinene, γ -terpinene terpinolene,) sebagai fungsi waktu dihitung menggunakan Persamaan (1) sampai (6). SSE masing-masing komponen senyawa dihitung dengan menggunakan Persamaan (18) sampai (23) yang selanjutnya digunakan untuk menghitung SSE total. Perbandingan antara konversi α -pinene data dengan konversi α -pinene hasil hitungan dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat bahwa selisih antara konversi α -pinene dari data percobaan dengan konversi α -pinene hitungan cukup kecil dan memberikan hasil dalam bentuk grafik yang berimpit.



Gambar 5. Perbandingan antara konversi α -pinen data dengan konversi α -pinen hasil hitungan

Hasil tersebut menunjukkan bahwa model kinetika reaksi yang diusulkan dapat mendekati data percobaan dengan cukup baik. Dengan diperoleh nilai SSE total yang diperoleh sebesar 9,812. Harga tiap parameter yang diajukan (energi aktivasi dan faktor tumbukan) dapat dilihat pada Tabel 1 dan nilai konstanta kinetika reaksi pada Tabel 2.

Tabel 1. Harga Energi Aktivasi (E)

Energi Aktivasi	E kJ/mol
E ₁	27,93
E ₂	19,67
E ₃	18,53
E ₄	19,25
E ₅	4,28

Tabel 2. Harga Faktor Tumbukan (A)

Faktor Tumbukan	A x 10 ⁵ dm.s ⁻¹
A ₁	0,0825
A ₂	0,0061
A ₃	0,0645
A ₄	0,0595
A ₅	0,0645

Konstanta kinetika reaksi yang diperoleh tercantum pada Tabel 3. Dari tabel tersebut bahwa konstanta laju reaksi (k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , k_5) nilainya meningkat dengan meningkatnya suhu reaksi. Hal ini diakibatkan karena konstanta kinetika merupakan fungsi suhu, sehingga semakin tinggi suhu maka semakin besar nilai konstanta kinetika reaksi. Semakin tinggi suhu, maka frekuensi tumbukan antar molekul juga semakin meningkat.

Tabel 3. Harga k_1 , k_2 , k_3 , k_4 dan k_5 pada berbagai suhu reaksi

T °C	k_1 dm.s ⁻¹	k_2 dm.s ⁻¹	k_3 dm.s ⁻¹	k_4 dm.s ⁻¹	k_5 dm.s ⁻¹
70	118	49,01	4,63	1,32	103,09
80	125	53,01	4,66	2,20	106,14
90	132	57,15	4,73	61,61	110,31
100	143	64,87	14,53	63,65	114,13

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa kinetika reaksi isomerisasi α -pinene pada produksi camphene dari senyawa terpenin

secara *batch* dengan katalis amberlyst 36 dengan model skema mekanisme reaksi isomerisasi α -pinene yang tidak menampilkan karbokation sebagai produk didekati dengan laju reaksi order satu *irreversible* dengan ralat 9,812 %.

Optimasi model kinetika isomerisasi yang diajukan menghasilkan parameter faktor tumbukan (A) dan Energi aktivasi (E) untuk masing-masing produk isomer berupa camphen, limonen, α -terpinen, γ -terpinen, terpinolen yaitu 0,0825x10⁵ dm.s⁻¹; 0,0061x10⁵ dm.s⁻¹; 0,0645x10⁵ dm.s⁻¹; 0,0595x10⁵ dm.s⁻¹; 0,0645x10⁵ dm.s⁻¹ dan 27,93 kJ/mol; 19,67 kJ/mol; 18,53 kJ/mol; 19,25 kJ/mol; 4,28 kJ/mol.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada PSERG Research Group Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang telah memberikan dukungan pelaksanaan penelitian dan dana penelitian.

Daftar Pustaka

- Aguirre, M. R., Gochi, Y.P., Sanchez, A.R., and De La Torre, L., Elguzabal, A.A., 2008, Synthesis of camphene from α -pinene using SO₃²⁻ functionalized MCM-41 as catalyst, *Appl. Catal., A*, 334, 59-64.
- Allahverdiev, A.I., Irandoust, S., Andersson, B., and Murzin, D.Y., 2000, Kinetics of α -pinene enantiomeric isomerization over clinoptilolite, *Appl. Catal., A*, 198, 197-206.
- Aripta, T. I., 2011, Sintesis Alpha Terpeneol Dari Alpha Pinen Dengan Menara Distilasi Reaktif, Thesis, FT-UGM, Yogyakarta.
- Atalay, B., and Gunduz, G., 2011, Isomerization of α -pinene over H3PW12O₄₀ catalyst supported on natural zeolite, *Chem. Eng. J.*, 168, 1311-1318.
- Comelli, N.A., Ponzi, E. N., and Ponzi, M. I., 2006, α -pinene isomerization to camphene effect of thermal treatment on sulfated zirconia, *Chem. Eng. J.*, 117, 93-99.
- Findik, S., and Gunduz, G., 1997, Isomerization of α pinene to camphene, *JAOCs*, 74, 1145-1151.
- Grzona, L., Orejas, J., Volzone, C., and Ponzi, M., 2005, Kinetic modeling of α -pinene catalytic transformation in liquid phase, *2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering, Brazil*.
- Gscheidmeier, M. and Fleig, H., 1996, *Turpentines*, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, A-27, 267-280.
- Holguin, N. F., Elguezabal, A. A., Valdez, L.M.R., and Mitnik, D.G., 2008, Theoretical study of chemical reactivity of the main species in the α -pinene isomerization reaction, *J. Mol. Struct. THEOCHEM*, 854, 81-88.
- Liu, S.W., Yu, S. T., Liu, F.S., Xie, C. X., Li, L., Ji, K. H., 2008, Reactions of α -pinene using acidic ionic liquids as catalysts, *J. Mol. Catal. A: Chem.*, 279, 177-181.

- Ozkan, F., Gunduz, G., Akpolat, O., Besun, N., and Murzin, D.Y., 2003, Isomerization of α pinene over ion-exchanged natural zeolites, *Chem. Eng. J.*, 91, 257-269.
- Rachwalik, R., Olejniczak, Z., Jiao, J., Huang, J., Hunger, M., Sulikowski, B., 2007, Isomerization of α -pinene over dealuminated ferrite-type zeolites, *J. Catal.*, 252, 161-170.
- Utami, H., Budiman, A., Sutijan, Roto, Sediawan W. B., 2011, Studi Kinetika Reaksi Heterogen α -pinene menjadi terpineol dengan Katalisator Asam Khlora Asetat, *Reaktor*, vol. 13 No. 4, hal. 248-253
- Valencia, O.C., Sanchez, A.R., Martinez, V.C., and Elguezabal, A.A., 2003, Ion exchange resins as catalyst for the isomerization of α pinene to camphene, *Bioresour. Technol.*, 93, 119-123.
- Volzone, C., Masini, O., Comelli, N. A., Grzona, L. M., Ponzi, E. N., Ponzi, M. I., 2001, Production of camphene and limonene from pinene over acid di- and trioctrahedral smectite clays, *Appl. Catal., A.*, 214, 213-218.
- Yadav, M.K., Chudasama, C.D., and Jasra, R.V., 2004, Isomerization of α -pinene using modified montmorillonite clays, *J. Mol. Catal. A:Chem.*, 216, 51-59.